## 建设散裂中子源 探索微观大世界

你知道怎样准确诊断和预防航空发动机的“心脏病”吗？那就要克服制约其性能的最大瓶颈之一——叶片金属疲劳。金属也会疲劳，每分钟几万转，转得久了，就存在裂碎风险。散裂中子源可以用于航空发动机叶片应力测试，以探测和预防金属疲劳。

你知道分布于深海或陆域永久冻土中的可燃冰吗？若要安全开采、储藏、运输和利用可燃冰，就需要了解其结构和性质。可燃冰是甲烷与水在高压低温条件下形成的结晶物质，科学家必须将其放在很厚的金属容器内，模拟千米水深下的巨大压力。中子对组成可燃冰的碳氢化合物最敏感，通过散裂中子源就可以隔着厚厚的金属容器进行可燃冰研究。

研究电动汽车的电池性能，研究催化剂的作用机理，研究芯片的单粒子效应，研究高温超导材料的自旋涨落，在这些领域，散裂中子源都能发挥关键作用。

在广东省东莞市松山湖科学城，紧邻高速公路，有一片依山而建、造型独特的建筑群，山坡上矗立着“中国散裂中子源”几个大字。中国散裂中子源（CSNS）是中国首台、世界第四台脉冲型散裂中子源，为国际前沿基础科学研究和国家发展战略诸多领域提供先进的中子散射研究和应用。它的成功建设，填补了国内脉冲中子源及应用领域的空白，技术和综合性能进入国际同类装置先进行列，显著提升了中国在相关领域的技术水平和自主创新能力。

**铸造理想“探针”**

物理学在过去一个世纪经历了三次大的跨越，从原子物理深入到原子核物理，再深入到粒子物理。100多年前，科学家发现原子由原子核和电子组成，后来又发现原子核由质子和中子组成，从20世纪60年代开始，科学家逐步发现组成原子核的质子和中子是由更深层次的粒子——夸克组成的。

应该说，这三次大的跨越产生丰硕成果，在不断深入到物质微观结构新层次的研究过程中，物质结构理论取得重大突破，并且带动重大技术发明，转化成巨大生产力。我们现在用的半导体、电视、手机、计算机、激光以及全球定位系统，都是以20世纪物理学的研究成果为基础发展起来的。

如何去研究微观结构呢？我们在中学生物课上用显微镜来看花粉、看细胞。如果想看再精细一些的结构，可以用电子显微镜。想看更精细的，就要用到我们称之为超级显微镜的散裂中子源、同步辐射光源等。散裂中子源作为一台超级显微镜，是以中子为“探针”，看穿材料的微观结构。

中子具备一些特性，如不带电，但是有磁矩；能够探测原子核的位置，探测同步辐射所不敏感的轻元素，比如碳、氢、氧、氮等元素的位置；穿透能力非常强，能够用来原位研究大的工程部件的残余应力和金属疲劳；可以探测物质结构的微观动态过程等。因此，它被科学家视作探索微观世界的理想“探针”。当中子与被研究对象的原子核相互作用而改变运动方向时，科学家通过分析散射中子的轨迹、能量和动量变化，就能反推出物质的结构。这就好像我们不断往一张看不见的网上扔弹珠，有的弹珠穿网而过，有的则打在网上，弹向不同角度。如果记录下这些弹珠的运动轨迹，就能大致推测出网的形状。如果弹珠扔得够多、够密、够强，就能把这张网的组成精确地描绘出来。

**建造中子“工厂”**

中子其实在我们周围到处都存在，但这些中子都被束缚于原子核中，无法自由运动。我们要用中子做探针，就需要自由的中子。自由的中子从何而来？这就需要专门产生大量自由中子的装置，可以通俗地称之为产生中子的“工厂”。这样的“工厂”主要有两类：一类是反应堆中子源，还有一类是散裂中子源，它通过高能质子束去轰击重金属靶，发生散裂反应，从而产生高通量短脉冲中子束流。国际上的先进中子源正在逐步从反应堆转向散裂中子源，因为其性能更好，而且安全性更高。

物理学有一条基本规律，研究越小的尺度，需要越高的能量。随着物质结构的研究深入到原子核和粒子的层次，研究物质微观结构的尺度越来越小，就需要使用能量越来越高的粒子。加速器可以产生高能量粒子，加速器做得越大，能量有可能越高，于是催生了各种基于大型加速器的重大科技基础设施，也称大科学装置。

这些大科学装置具有鲜明的科学和工程双重属性，知识创新和科学成果产出丰硕，技术溢出、人才集聚效益非常显著，因此往往成为国家创新高地的关键要素，是国之重器、科技利器。

2011年9月，中国散裂中子源装置在广东东莞开工建设。一期建设内容包括一台8000万电子伏特的直线加速器、一台16亿电子伏特快循环同步加速器、一个靶站，以及3台供科学实验用的中子散射谱仪。其工作原理是将质子加速到16亿电子伏特，速度相当于0.92倍光速，把质子束当成“子弹”，去轰击重金属靶。金属靶的原子核被撞击出质子和中子，科学家便通过特殊的装置“收集”中子，开展各种实验。

散裂中子源装置不仅极为庞大，而且部件繁多，工艺极其复杂，制造和安装过程克服了重重困难。装置各项设备的批量生产由全国近百家合作单位完成，国产化率达90%以上，许多设备达到国际先进水平。2017年8月，中国散裂中子源首次打靶就成功获得完全符合预期的中子束流。2018年，中国散裂中子源按指标、按工期高质量完成了工程建设任务，从此实现了强流质子加速器和中子散射领域的重大跨越，为物质科学、生命科学、资源环境、新能源等方面的基础研究和高新技术研发提供强有力支撑。

**搭建交叉平台**

自中国散裂中子源通过国家验收进入正式运行阶段以来，已完成十多轮开放，每年运行时间超过5000小时，开放时长和效率都处于国际同类装置的领先水平。目前已完成了超过1300个科研课题，取得了一批重要科学成果，如锂离子电池、太阳能电池结构、稀土磁性、新型高温超导、量子材料、功能薄膜、高强合金、芯片单粒子效应等，为国家诸多领域的战略需求和高科技产业提供关键的研究平台。在粤港澳大湾区，散裂中子源另外建设了8台合作谱仪，已经陆续投入运行。

近年来，中国散裂中子源对国产高铁车轮进行内部深度残余应力测量，给出了高铁车轮完整的应力数据，对高铁安全性和提速具有重要意义；利用中子的穿透能力和对复杂组分的定量识别能力，解释了创造世界纪录的高屈服强度且韧性好的超级钢的新机制；通过实时原位测量，研究汽车锂电池的结构特征和锂离子在充放电循环过程中的输运行为，对锂电池性能提高提供重要数据支撑；运行大气中子谱仪，加速模拟宇宙射线打到大气层产生的中子辐照环境，为解决电子元器件在大气层内与地面的失效问题提供重要手段，为飞机适航论证和航空器安全提供研究平台。

散裂中子源积极推动相关技术成果转化。硼中子靶向肿瘤治疗，是一种新的二元细胞级精准治疗癌症技术，利用中国散裂中子源发展起来的技术所研制的。硼中子俘获治疗项目作为推进散裂中子源技术产业化的第一个项目，临床设备在东莞市人民医院已完成安装和调试，即将开始临床试验。

中国散裂中子源二期工程于2024年1月正式启动。二期工程建成后，中国散裂中子源的谱仪数量将增加到20台，加速器打靶束流功率将从一期的100千瓦提高到500千瓦。新的谱仪和实验终端建成后，中国散裂中子源的设备研究能力将大幅提升，实验精度和速度将显著提高，能够测量更小的样品、研究更快的动态过程，为前沿科学研究、国家重大需求和国民经济发展提供更先进的研究平台。

中国散裂中子源的建成恰逢大科学装置发展的好时代，肩负发展中国中子散射研究和应用的重任，为国家创新发展提供重要引擎，为实现高水平科技自立自强作出贡献。